

Associação entre modelos hidrológicos e geotecnologias para identificação de áreas suscetíveis a inundações e enxurradas em locais com baixa disponibilidade de dados altimétricos e hidrológicos.

Guilherme Garcia de Oliveira¹
Taísa Flores¹
Nestor Antonio Bresolin Junior²
Claus Haetinger¹
Rafael Rodrigo Eckhardt¹
Renata Pacheco Quevedo³

¹ Centro Universitário UNIVATES
CEP 95900-000 – Lajeado – RS, Brasil
{guilherme.oliveira, taisa.flores, chaet, rafare}@univates.br

² Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS
CEP 90619-900 – Porto Alegre – RS, Brasil
nbresolin@gmail.com

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
CEP 91501-970 – Porto Alegre – RS, Brasil
renata.quevedo@ufrgs.br

Abstract. Natural disasters very often have caused deep impacts on human society. It is estimated that in the last decade about 1.5 billion people around the globe were affected by hydrometeorological events. In order to prevent natural disasters to reach careless and susceptible areas, several methodologies have been presented to identify the vulnerability. The identification of susceptible areas to floods in the Forqueta River Basin has been conducted by the utilization of a modelling method that integrates the hydrological simulation and the use of geotechnologies. The definition of extreme rainfall in return periods (RP) of 10, 30 and 100 years was carried out by using an intensity-duration-frequency equation. Shuttle Radar Topography Mission data were used to the delimitation of the basins and rivers. The Soil Conservation Service method was used for the transformation of rain runoff, while the spread of river flood wave was conducted by Muskingum-Cunge model. The extreme precipitation scenario for a period of 25 hours ranged from 123mm (RP10) to 179mm (RP100). Hydrological simulation revealed that the maximum flow rates can exceed $8,000\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ at the Forqueta river outfall, with wet area section larger than $5,000\text{m}^2$ and waters rising more than 10m on the average. About 2% of the basin showed some degree of susceptibility (RP100), adding up to 53km^2 of wetlands. The approach has shown consistent results concerning to flows and flood levels. One may conclude that the same data set could be applied to other fields of study, for regional hydrological characterization of susceptibility to disasters.

Palavras-chave: geographic information systems, digital elevation model, natural disasters, sistema de informações geográficas, modelo digital de elevação, desastres naturais.

1. Introdução

Os desastres relacionados a eventos hidrológicos extremos causam grandes impactos à sociedade. Entre 2001 e 2015, estima-se que aproximadamente 1,3 bilhões de pessoas foram afetadas, 285.000 ficaram feridas e 96.000 pessoas foram vitimadas, além de prejuízos da ordem de US\$ 400 bilhões, em função à ocorrência desse tipo de evento em todo o mundo. No Brasil, neste mesmo período, foram afetadas 6,8 milhões de pessoas, com mais de 2.500 mortes e prejuízo aproximado de R\$ 20 bilhões (EM-DAT, 2016).

As inundações e enxurradas são provocadas por intensas ou volumosas precipitações, que combinadas com fatores físicos e antrópicos da bacia hidrográfica, podem causar impactos em diferentes escalas e proporções. As inundações são definidas como um transbordamento gradual da água do leito menor dos corpos hídricos para as planícies adjacentes. As

enxurradas se diferenciam pela maior velocidade e poder de destruição, ocorrendo em locais de relevo acidentado, geralmente, em bacias menores (Castro et al., 1998; Oliveira, 2010).

Diversas metodologias têm sido apresentadas para a identificação de áreas suscetíveis. Algumas utilizam geotecnologias, como o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), como nos estudos de Kuenzer et al. (2013), Chen et al. (2014) e Pandey et al. (2014). Outras integram as geotecnologias a dados fluviométricos e modelos digitais de elevação (MDE) como pode ser observada em Eckhardt (2008), Oliveira (2010), Pan e Nichols (2013), Mason et al. (2016) e outros. Em bacias com séries fluviais insuficientes, observa-se a utilização de modelos hidrológicos para simular o avanço das águas, como em Bates (2012), Grimaldi et al. (2013), Guasselli et al. (2016) e Santos (2016).

No Brasil, visando uma adequação ao insuficiente investimento em monitoramento hidrológico e levantamentos altimétricos, faz-se necessária a aplicação de métodos adaptados, considerando os dados disponíveis em larga escala. Um exemplo é o método HAND (Rennó et al., 2008), utilizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) na definição dos graus de suscetibilidade às inundações em centenas de municípios do Brasil.

Neste contexto, o objetivo deste estudo é apresentar uma abordagem adaptada para locais com poucos registros fluviométricos, integrando modelos hidrológicos e geotecnologias para a identificação de áreas suscetíveis a inundações e enxurradas, com uso de dados gratuitos e disponíveis em larga escala. Dentre as vantagens dessa metodologia em relação a estudos anteriores, pode-se mencionar a inclusão da análise de frequência e profundidade das águas na definição dos graus de suscetibilidade e o satisfatório nível de automatização para obtenção das manchas de inundação.

O estudo foi aplicado à bacia hidrográfica do rio Forqueta (~2.845km²), afluente do rio Taquari, localizado entre a Serra Geral e a Depressão Central Gaúcha, no estado do Rio Grande do Sul (RS). Essa região é frequentemente atingida por esse tipo de evento, como no episódio de janeiro de 2010, com precipitação superior a 300 mm em 20 horas, que resultou na maior enxurrada do vale do rio Forqueta, com a destruição de dezenas de residências, pontes, lavouras, campings, e outras infraestruturas (Cas, 2015).

2. Metodologia de Trabalho

A identificação de áreas suscetíveis a inundações e enxurradas na bacia do rio Forqueta foi realizada por meio de um modelo que integra a simulação hidrológica e o uso de geotecnologias. O estudo foi segmentado nas seguintes etapas: i) definição das precipitações extremas em diferentes tempos de retorno (TRs); ii) divisão da bacia hidrográfica em sub-bacias e trechos de rios; iii) modelagem e simulação hidrológica; iv) identificação da cota limite para inundações; v) espacialização das áreas suscetíveis.

Para modelagem das precipitações extremas, foi utilizada a equação IDF (intensidade-duração-frequência) ajustada para o Taquari-Antas por Sampaio (2011), como mostra a Equação 1. Foram selecionados os TRs de 10, 30 e 100 anos para simular chuvas com diferentes probabilidades de ocorrência. A duração da chuva (d) foi definida como igual ao tempo de concentração (tc) (Equação 2), calculado pelo método de Kirpich (Kirpich, 1940). O intervalo de tempo (dt) de cada bloco de chuva foi definido em 15 minutos. As chuvas foram reordenadas pelo método dos blocos alternados, com posição de pico igual a $0,5d$.

A bacia e a drenagem foram mapeadas em um SIG, com uso de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) do banco de dados Topodata (Valeriano et al., 2009). O procedimento utilizado se baseia no algoritmo proposto por Jenson e Domingue (1988), que consiste na eliminação de sumidouros, na extração das direções de drenagem e da área de drenagem acumulada. A bacia hidrográfica do rio Forqueta foi dividida em 18 sub-bacias, a

maior parte com área entre 100 e 250 km². Os rios principais (Forqueta, Fão e Forquetinha) foram subdivididos em 12 trechos, com extensão média de 20 km por trecho.

$$i = \frac{998,57 \cdot TR^{0,1331}}{8,97 \cdot d^{0,7578}} \quad (1)$$

Em que: i é a intensidade da chuva (mm.h⁻¹); TR é o tempo de retorno (anos); d é a duração (min).

$$tc = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (2)$$

Em que: tc é o tempo de concentração (min); L é o comprimento do rio (km); H é o desnível altimétrico (m).

O modelo utilizado para transformação da chuva em escoamento superficial na saída de cada sub-bacia foi o *Soil Conservation Service* (SCS, 1975). A propagação do escoamento nos trechos de rio foi realizada por meio do modelo Muskingum-Cunge, na versão não linear, com planície de inundação (McCarthy, 1938; Cunge, 1969).

O modelo SCS tem como parâmetros, nas sub-bacias, a área de drenagem (A), o comprimento do rio principal (L), o desnível altimétrico (H) e o *Curve Number* (CN). Os parâmetros A , L e H foram extraídos a partir da base SRTM. O parâmetro CN foi obtido por meio do cruzamento entre os mapas de solos e uso e cobertura da terra, obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016). As tabelas publicadas por Tucci (1998) foram utilizadas para cálculo do CN médio nas sub-bacias.

O modelo Muskingum-Cunge tem como parâmetros, nos trechos de rio, o comprimento (L), a profundidade (Z), a largura (B), o desnível altimétrico (H) e o coeficiente de rugosidade (n) do rio, além da largura ($B1$) e o coeficiente de rugosidade ($n1$) da planície de inundação. Os parâmetros L , H e $B1$ foram obtidos por meio do processamento dos dados SRTM. A profundidade foi estimada por seções transversais do HIDROWEB (ANA, 2016) e do projeto da PCH Salto Forqueta (Cas, 2015). A largura média foi obtida ao traçar cinco seções por trecho, usando as imagens do Google Earth®. A rugosidade foi estimada de acordo com o tipo de material depositado no canal e nas planícies, com suporte de atividades em campo.

A simulação hidrológica foi realizada no *software* IPHS1 (Viegas Filho, 2000). Dentre as saídas da simulação, destacam-se os hidrogramas e cotogramas, contendo a variação das vazões e níveis fluviais em função do tempo. Uma vez conhecidas as características geométricas de cada seção e o pico das vazões, foi possível calcular a área da seção transversal molhada (ASTM) e a velocidade do fluxo da água em cada intervalo de tempo. Em seguida, foram traçados perfis topográficos dos vales, de modo a calcular a cota topográfica máxima atingida para cada cenário (TR de 10, 30 e 100 anos).

As cotas de inundação foram interpoladas pelo método do inverso do quadrado da distância para o vale dos rios Fão, Forquetinha e Forqueta, gerando superfícies de inundação. Aplicando-se a técnica de álgebra de mapas, subtraindo do MDE SRTM os valores contidos nas superfícies de inundação, as áreas inundáveis ficam realçadas, incluindo a profundidade das águas em cada *pixel* do MDE. Por fim, quanto à definição dos graus de suscetibilidade, foram estabelecidos os critérios apresentados na Tabela 1, buscando integrar a frequência das ocorrências com a profundidade das águas em quatro categorias.

Tabela 1. Critérios para definição dos graus de suscetibilidade às inundações e enxurradas.

Profundidade das águas (metros)	Frequência (TR em anos)		
	Até 10	De 10 a 30	De 30 a 100
Superior a 3	MUITO ALTA	ALTA	MÉDIA
De 1 a 3	ALTA	MÉDIA	BAIXA
Até 1	MÉDIA	BAIXA	-

3. Resultados e Discussão

Os cenários de precipitação extrema para duração de 25 horas, equivalente ao tempo de concentração da bacia, apresentaram acumulados de 132 mm (TR10) a 179 mm (TR100). A chuva foi distribuída pelo método dos blocos alternados em intervalos de 15 minutos. O pico da precipitação foi posicionado em torno de 12,5 horas após o início das chuvas, e apresentou intensidade de 122 mm.h^{-1} (TR10) a 166 mm.h^{-1} (TR100).

A extração de parâmetros hidrológicos por bacia e trecho de rio possibilitou a elaboração de uma síntese quanto às características que regem o escoamento das águas. As bacias apresentaram uma área média de 158 km^2 , com valores entre 31 e 240 km^2 . O comprimento do rio principal das bacias variou entre 7,3 e 33,5 km, com média de 20 km. Já o desnível altimétrico apresentou valor médio de 533 m, oscilando entre 349 e 664 m. As declividades da drenagem ficaram entre 10 e 72 m.km^{-1} . O CN ficou estabelecido entre 65 (bacias rurais ou com florestas) e 78 (bacias mais urbanizadas).

O rio Fão foi dividido em quatro trechos, que somados apresentaram extensão de 85 km, com variação de cota de 76 m (jusante) a 435 m (montante), largura média dos trechos de rio entre 30 e 55 m, profundidades de 3,5 a 4,2 m e largura da planície de inundação entre 91 e 200 m. Já o rio Forqueta foi segmentado em sete trechos, totalizando 122 km de extensão, com variação da largura média do rio entre 28 e 90 m, e profundidades de 3,5 a 5 m. Na parte superior desse rio a declividade média é de $5,3 \text{ m.km}^{-1}$, com largura da planície inferior a 200 m. Nos trechos baixos do rio, a declividade fica em torno de $1,3 \text{ m.km}^{-1}$, com abertura do vale em planícies mais extensas, com largura superior a 1 km.

Esses resultados indicam uma tendência à ocorrência de enxurradas desde a confluência dos rios Fão e Forqueta em direção às cabeceiras de drenagem. No rio Forqueta, entre os municípios de Marques de Souza e Arroio do Meio, predominam as inundações, com avanço mais gradual das águas, tanto em função das chuvas na bacia do Forqueta quanto em virtude do efeito remanso provocado pelo rio Taquari, que possui uma área de drenagem muito maior.

A simulação hidrológica oferece como principais resultados os valores de vazão, área da seção transversal molhada e velocidade do fluxo, em cada intervalo de tempo, para as sub-bacias e trechos de rios, em cada cenário de TR. No rio Fão, próximo à foz, na confluência com o rio Forqueta, a vazão de pico varia entre $2.800 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (TR10) e $5.000 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (TR100), ocorrendo cerca de 5 horas após o pico da chuva. Já o Forqueta, no trecho a montante do encontro com o Fão, apresenta uma vazão menor, com pico de $1.400 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (TR10), $1.800 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (TR30) e $2.500 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (TR100), com tempo de retardo semelhante (Figuras 1 e 2).

A jusante da confluência dos rios, no rio Forqueta junto à cidade de Marques de Souza, as vazões do rio Forqueta atingem valores de $4.200 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (TR10), $5.500 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (TR30) e $7.500 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (TR100), ocorrendo cerca de 7 horas após o período de maior precipitação, variando de acordo com o TR. No trecho final do rio Forqueta, em Arroio do Meio, a vazões de pico se estabilizam em $4.400 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (TR10), $6.100 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (TR30) e $8.200 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (TR100), mas com um retardo maior, entre 8 e 10 horas após o pico da precipitação (Figuras 1 e 2).

Após a simulação hidrológica, foram obtidas as cotas de inundação em um conjunto de perfis transversais extraídos dos dados SRTM. Em cada perfil, foi definida a cota limite para os TRs de 10, 30 e 100 anos. Em virtude da declividade acentuada, os níveis de inundação apresentaram uma grande variabilidade. No rio Forqueta, na confluência com o rio Fão, os níveis ficam entre 86 m (TR10) e 93 m (TR100). Já na foz do rio Forqueta, entre Arroio do Meio e Lajeado, a cota de inundação fica entre 30 m (TR10) e 33,5 m (TR100).

As Figuras 3 e 4 ilustram perfis transversais e cotas de inundação para os três TRs, em duas seções localizadas no rio Forqueta (P1 e P2, Figura 5C), no município de Marques de Souza. A montante do perímetro urbano deste município, as cotas de inundação são de 59,5 m (TR10), 60,2 m (TR30) e 62,1 m (TR100). Já em um perfil mais a jusante, na área central da cidade, as cotas são de 53,5 m (TR10), 54,3 m (TR30) e 56,1 m (TR100).

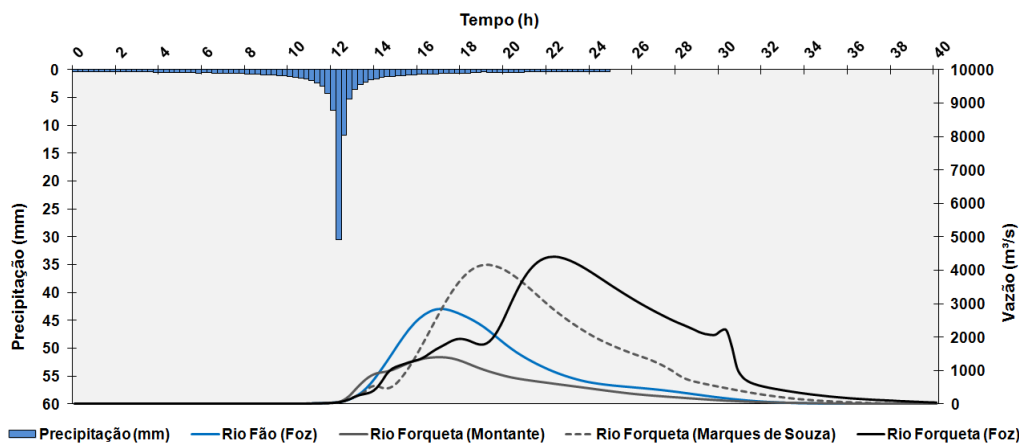


Figura 1. Hidrograma dos rios Fão e Forqueta em quatro seções transversais, TR de 10 anos.

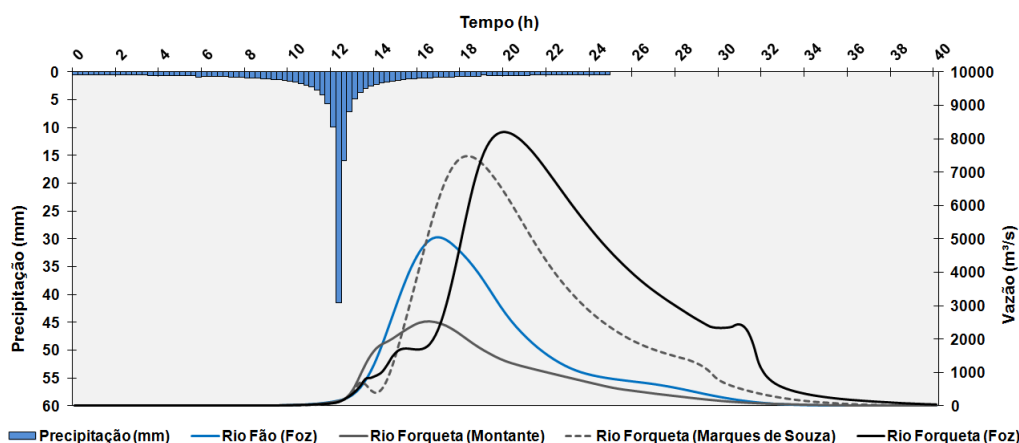


Figura 2. Hidrograma dos rios Fão e Forqueta em quatro seções transversais, TR de 100 anos.

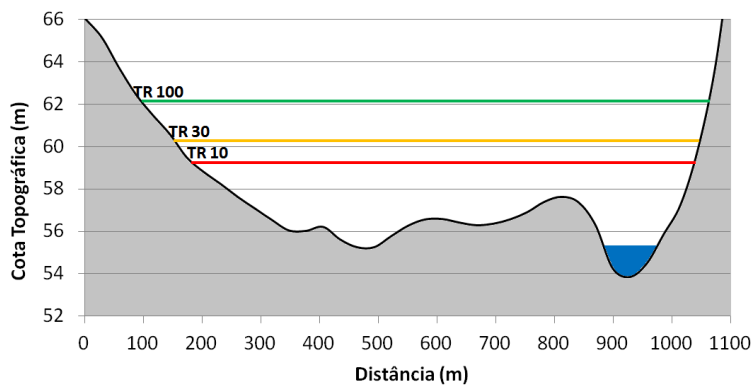


Figura 3. Seção P1 e cotas de inundação, rio Forqueta, Marques de Souza, Montante.

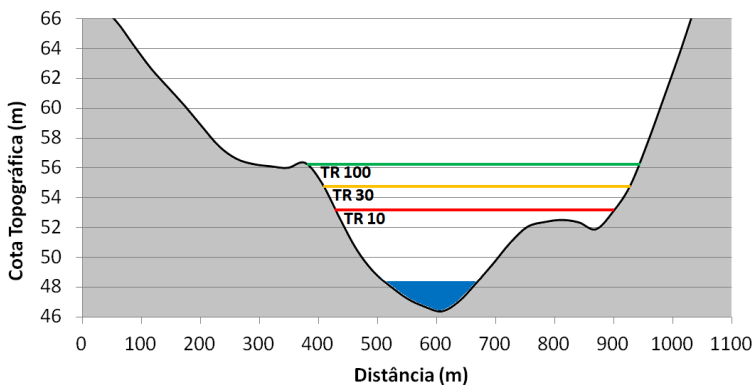


Figura 4. Seção P2 e cotas de inundação, rio Forqueta, Marques de Souza, Perímetro Urbano.

Esses resultados indicam a necessidade de se considerar a pendente da linha de água do rio em períodos de cheias para a definição de áreas suscetíveis, diferente da cota fixa de inundação (55 m), que atualmente é utilizada pelo município no licenciamento de novos empreendimentos imobiliários no perímetro urbano. Além disso, é importante mencionar que em alguns pontos da área urbana de Marques de Souza, a grande enxurrada de 2010 atingiu a marca de 59 m, o que fortalece a necessidade de revisão da cota limite pré-estabelecida.

A partir dos resultados da simulação hidrológica e do cálculo de cota topográfica atingida em cada seção transversal, foi possível espacializar as áreas inundáveis por TR e por profundidade das águas, e classificar o grau de suscetibilidade. A Figura 5 ilustra o mapa temático, no qual é possível observar a predominância de áreas com alta e muito alta suscetibilidade, conjugando alta frequência de ocorrência com lâmina de água profunda em muitos trechos do vale.

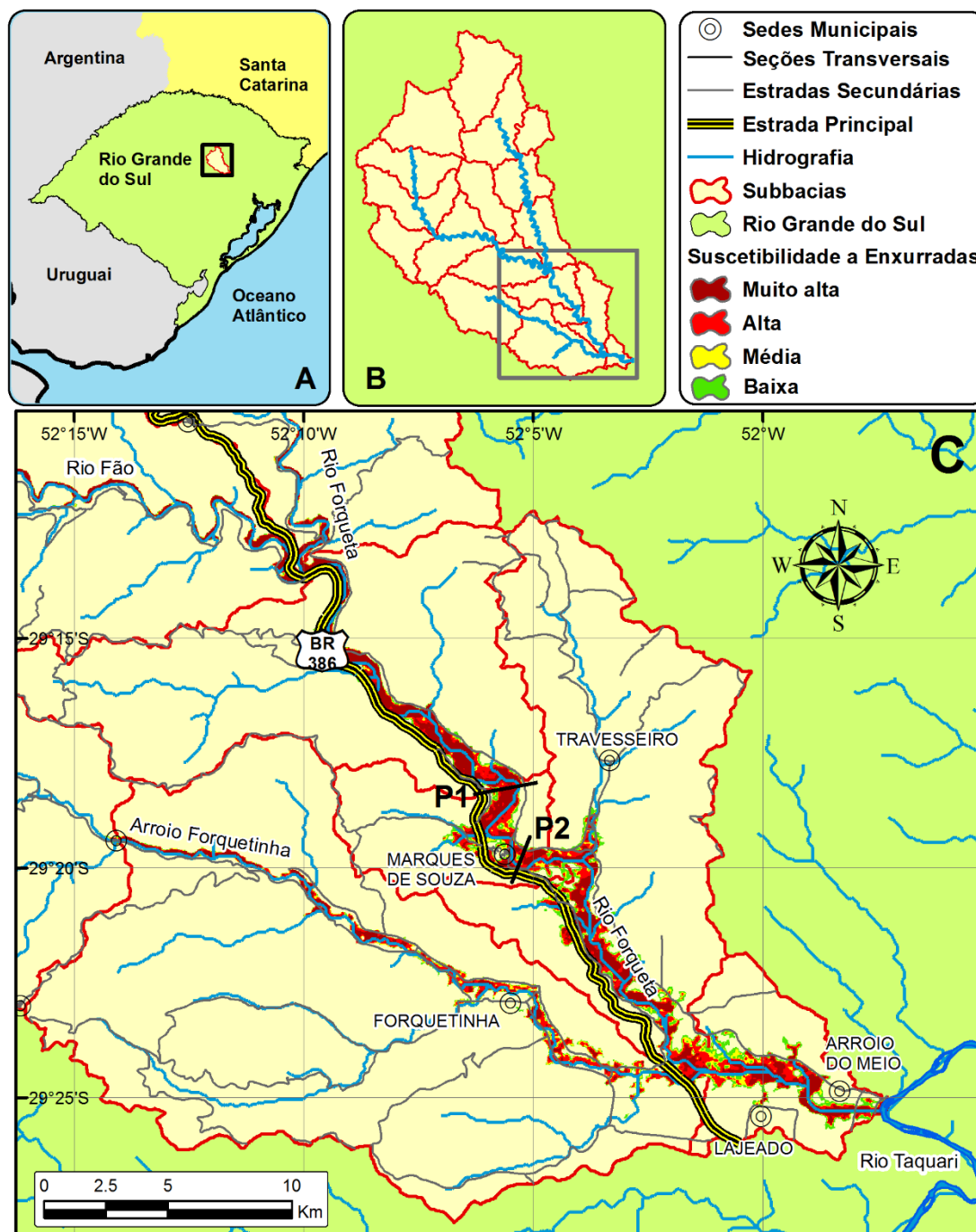


Figura 5. Mapa de suscetibilidade a enchurradas e inundações na bacia do rio Forqueta, RS.

De acordo com os resultados obtidos, cerca de 2% da bacia apresenta algum grau de suscetibilidade para TR de até 100 anos, totalizando 53 km² de áreas inundáveis. Aproximadamente 25 km² possuem muito alta suscetibilidade, de acordo com os critérios estabelecidos neste estudo, sendo afetada com TR de 10 anos ou menos, com lâmina d'água superior a 3 metros. Essas áreas estão localizadas ao longo do rio Forqueta, principalmente no trecho a jusante da sua confluência com o rio Fão, atingindo uma quantidade significativa de propriedades rurais e áreas de lazer (campings), além de uma parcela da área urbana de Marques de Souza e de Arroio do Meio. A largura média das áreas inundáveis é de cerca de 800 metros, dependendo da topografia local, com algumas seções mais estreitas (<100m) e outras mais extensas (>1400m, próximo à confluência com o arroio Forquetinha).

Uma característica marcante dos resultados é a pequena diferença entre as manchas de inundação entre os TRs de 10 e 100 anos, conforme já havia sido discutido no estudo de Santos (2016). Isso se deve a dois fatores: i) à característica do vale, com vertentes íngremes e rio extremamente encaixado, com poucas áreas de planícies ou terraços fluviais, normalmente ocupados por plantações de milho, soja e pastagens; ii) à baixa resolução altimétrica da base de dados SRTM, o que implica em uma simplificação dos limites das áreas inundáveis.

Santos (2016) realizou uma simulação de áreas inundáveis no vale do Forqueta, com uso de modelos hidrológicos, mas com a aplicação de curvas de nível com equidistância vertical de 1 m no perímetro urbano de Marques de Souza. Ao comparar os resultados, verificou-se que a discrepância não é tão significativa (erro planimétrico médio inferior a 30 m), indicando que o uso de dados SRTM para aplicações regionais, como a espacialização de áreas suscetíveis, pode ser uma alternativa para a carência de dados topográficos de alta resolução. Além disso, foram realizadas algumas visitas *in loco*, e com base nelas foi possível verificar uma boa representação das áreas suscetíveis, conferindo com locais atingidos frequentemente.

Ressalta-se que as vazões máximas e os níveis fluviais simulados apresentaram uma satisfatória correspondência com o observado nas séries disponíveis no HIDROWEB (ANA, 2016). De acordo com os dados hidrológicos da estação Passo do Coimbra, por exemplo, os níveis fluviais (média diária) se elevam em aproximadamente 10 metros com frequência, valor semelhante ao observado nas simulações hidrológicas aqui apresentadas, porém inferiores ao evento de janeiro de 2010, quando o rio subiu até 20 metros em algumas seções.

Por fim, deve-se reforçar que a maior contribuição do presente estudo se refere à abordagem metodológica que associa o uso de dados topográficos, modelos hidrológicos e os SIGs para identificação de áreas inundáveis de acordo com a profundidade das águas e a frequência em que são atingidas. A mesma abordagem poderia ser aplicada a outras áreas de estudo, com maior ou menor grau de precisão em função da resolução das bases georreferenciadas usadas.

4. Conclusões

Este estudo teve como objetivo apresentar uma abordagem adaptada para locais com poucos registros fluviométricos, em escala regional, integrando modelos hidrológicos e geotecnologias para a identificação de áreas suscetíveis a inundações e enxurradas. Estudos nessa escala também são importantes para um planejamento mais eficaz dos municípios e da Defesa Civil, buscando estratégias diferenciadas para o reordenamento espacial das atividades humanas, visando reduzir os custos inerentes aos processos hidrológicos extremos.

A metodologia demonstrou resultados detalhados e coerentes em relação aos tempos de retardo, às vazões e cotas topográficas limites em função de três cenários de precipitação extrema. Mesmo com a utilização da base SRTM, que possui uma resolução espacial limitada, pode-se concluir que o mesmo conjunto de dados poderia ser aplicado a outras áreas de estudo, para caracterização regional da suscetibilidade a inundações ou enxurradas.

Referências Bibliográficas

- ANA – Agência Nacional de Águas. **Sistema de Informações Hidrológicas HIDROWEB**. 2016. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>>. Acesso em: 15.jun.2016.
- Bates, P. D. Integrating remote sensing data with flood inundation models: how far have we got? **Hydrological Processes**, v. 26, n. 16, p. 2515-2521, 2012.
- Castro, A. L. C. **Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres**. Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria Especial de Políticas Regionais, Departamento de Defesa Civil, 1998.
- Chen, Y.; Wang, B.; Pollino, C. A.; Cuddy, S. M.; Merrin, L. E.; Huang, C. Estimate of flood inundation and retention on wetlands using remote sensing and GIS. **Ecohydrology**, v. 7, n. 5, p. 1412-1420, 2014.
- Cunge, J. A. On the subject of flood propagation computation method (Muskingum method). **Journal of Hydraulic Research**, v. 7, no. 2, p. 205-230, 1969.
- Cas, R. **Estudo da influência da PCH Salto Forqueta na enchente de 4 de janeiro de 2010**. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Lajeado: Centro Universitário Univates, 2015.
- Eckhardt, R. R. **Geração de Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento das Áreas Sujetas às Inundações Urbanas na Cidade de Lajeado/RS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2008.
- EM-DAT. **The International Disaster Database**. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED. 2016. Disponível em: <http://www.emdat.be/advanced_search/index.html>. Acesso em: 15.out.2016.
- Grimaldi, S.; Petroselli, A.; Arcangeletti, E.; Nardi, F. Flood mapping in ungauged basins using fully continuous hydrologic-hydraulic modeling. **Journal of Hydrology**, v. 487, p. 39-47, 2013.
- Guasselli, L. A.; Oliveira, G. G.; Quevedo, R. P.; Brubacher, J. P. Modelagem hidrológica e espacialização de áreas suscetíveis às inundações no município de Igrejinha, RS. **Geo UERJ**, n. 28, p. 353-380, 2016.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Download – Geociências**. 2016. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 20.jun.2016.
- Jenson, S. K.; Domingue, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, v54, n11, p.1593-1600, 1988.
- Kirpich, Z. P. Time of concentration in small agricultural watersheds. **Civil Engineering**, v. 10, p.362, 1940.
- Kuenzer, C.; Guo, H.; Huth, J.; Leinenkugel, P.; Li, X.; Dech, S. Flood mapping and flood dynamics of the Mekong Delta: ENVISAT-ASAR-WSM based time series analyses. **Remote Sensing**, v.5, n.2, p.687-715, 2013.
- Mason, D. C.; Trigg, M.; Garcia-Pintado, J.; Cloke, H. L.; Neal, J. C.; Bates, P. D. Improving the TanDEM-X Digital Elevation Model for flood modelling using flood extents from Synthetic Aperture Radar images. **Remote Sensing of Environment**, v.173, p.15-28, 2016.
- McCarthy, G. T. **The unit hydrograph and flood routing**. Proc. Conf. of North Atlantic Division, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC. 1938.
- Oliveira, G. G. **Modelos para Previsão, Espacialização e Análise das Áreas Inundáveis na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, RS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2010.
- Pan,F.; Nichols,J. Remote sensing of river stage using the cross-sectional inundation area-river stage relationship (IARSR) constructed from digital elevation model data. **Hydrological Processes**, v27, n25, p.3596-3606, 2013.
- Pandey, R. K.; Crétaux, J.; Bergé-Nguyen, M.; Tiwari, V. M.; Drolon, V.; Papa, F.; Calmant, S. Water level estimation by remote sensing for the 2008 flooding of the Kosi River. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 2, p. 424-440, 2014.
- Rennó, C. D.; Nobre, A. D.; Cuartas, L. A.; Soares, J. V.; Hodnett, M. G.; Tomasella, J.; Waterloo, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3469- 3481, 2008.
- Sampaio, M. V. **Espacialização dos coeficientes das equações de chuvas intensas em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, 2011.
- Santos, D. M. **Zoneamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa, enxurradas e inundações no município de Marques de Souza-RS**. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Ambiental, Lajeado: Centro Universitário Univates, 2016.
- SCS. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. Washington. U. S. Dept. Agr. (Technical Release.n.55), 1975.
- Tucci, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: ABRH. Ed. da Universidade – UFRGS. 1998. 669p.
- Valeriano, M. M.; Rossetti, D. F.; Albuquerque, P. C. G. Topodata: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfológicos locais em cobertura nacional. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal, RN. **Anais...**, São José dos Campos, SP : INPE, 2009. v. CD-ROM. p. 1-8.
- Viegas Filho, J. S. **O Paradigma da Modelagem Orientada a Objetos Aplicada a Sistemas de Apoio à Decisão em Sistemas de Recursos Hídricos**. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.